

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Umum Jaringan Distribusi Tenaga Listrik**

Jaringan Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah :

- a. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan).
- b. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.[ 1 ]

Jaringan distribusi dibedakan atas jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. jaringan distribusi primer adalah jaringan dari trafo gardu induk ke gardu distribusi, yang dikenal dengan jaringan tegangan menengah, sedangkan jaringan distribusi sekunder adalah jaringan distribusi dari trafo distribusi hingga konsumen atau beban, yang lebih dikenal dengan jaringan tegangan rendah. Di Indonesia tegangan pada jaringan tegangan menengah yang digunakan adalah sebesar 20 kV.[ 2 ]

#### **2.2 Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik**

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar 2.1.

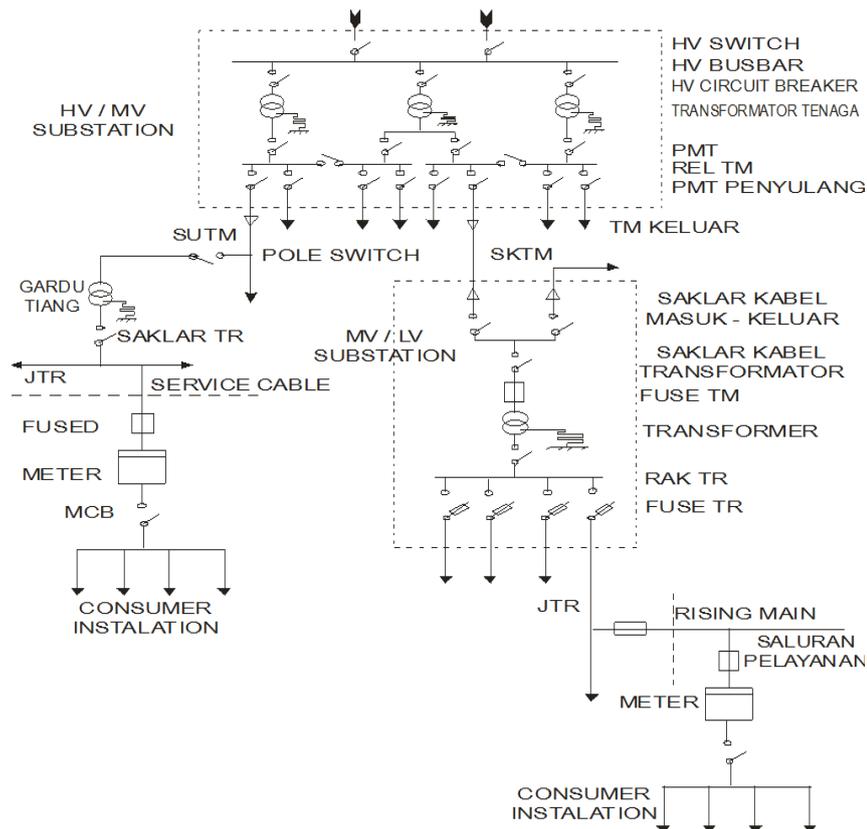
- Daerah I : Bagian Pembangkitan ( *Generation* )
- Daerah II : Bagian penyaluran ( *Transmission* ), Bertegangan tinggi (HV, UHV, EHV).
- Daerah III : Bagian distribusi primer, bertegangan menengah (6 atau 20 kV).
- Daerah IV : Didalam bangunan pada beban/ konsumen, Instalasi bertegangan rendah.

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat

dikelompokkan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat.[ 3 ]

Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

- SUTM**, terdiri dari : Tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan per-lengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
- SKTM**, terdiri dari : Kabel tanah, indoor dan outdoor termination, batu bata, pasir dan lain-lain.
- Gardu trafo**, terdiri dari : Transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabel-kabel, transformer band, peralatan grounding, dan lain-lain.
- SUTR dan SKTR** terdiri dari: sama dengan perlengkapan/ material pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.[ 4 ]



Gambar 2.1 Lay out Sistem Distribusi Tegangan Menengah

## 2.3 Pola Jaringan Distribusi Primer

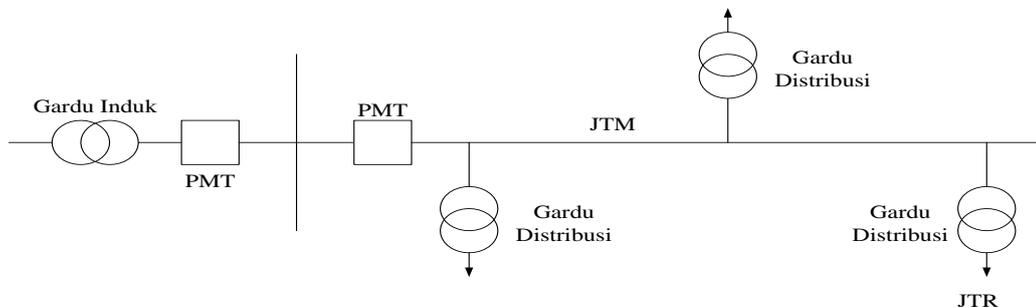
Pada saluran distribusi dikenal berbagai macam jenis feeder (penyulang), ada yang sebagai feeder primer dan ada yang sebagai feeder sekunder. Jenis-jenis feeder ini sangat diperlukan dalam memenuhi tingkat kontinuitas pelayanan pada pelanggan. Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi:

- a. Jaringan distribusi Radial
- b. Jaringan bentuk tertutup [ 5 ]

### 2.3.1 Jaringan radial

Jaringan distribusi radial merupakan bentuk jaringan yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Diagram satu garis sistem radial dapat dilihat pada gambar 2.2.

yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi “*black-out*” atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.[ 6 ]

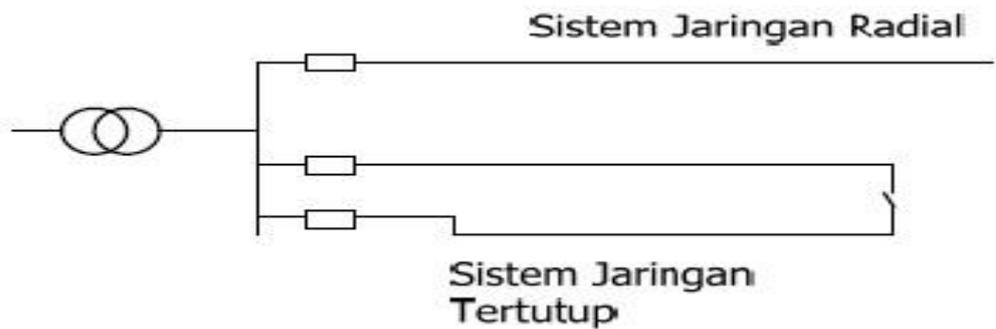


Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Radial

Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibandingkan dengan sistem yang lain. Sedangkan kerugiannya adalah keandalan sistemnya lebih rendah dibandingkan dengan sistem yang lainnya, hal ini disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut mengalami pemadaman.[ 6 ]

### 2.3.2 Jaringan bentuk tertutup

Yaitu jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman (*black-out*) dapat dikurangi atau bahkan dihindari.[ 7 ]

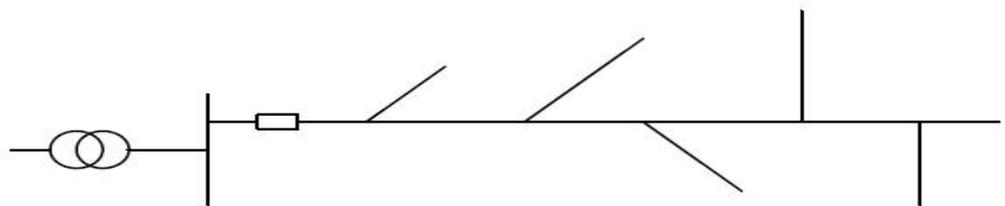


Gambar 2.3 Pola Jaringan Distribusi Dasar

Berdasarkan kedua pola dasar tersebut, dibuat konfigurasi-konfigurasi jaringan sesuai dengan maksud perencanaannya sebagai berikut :

#### 1. Konfigurasi *Fish-Bone*(Tulang Ikan)

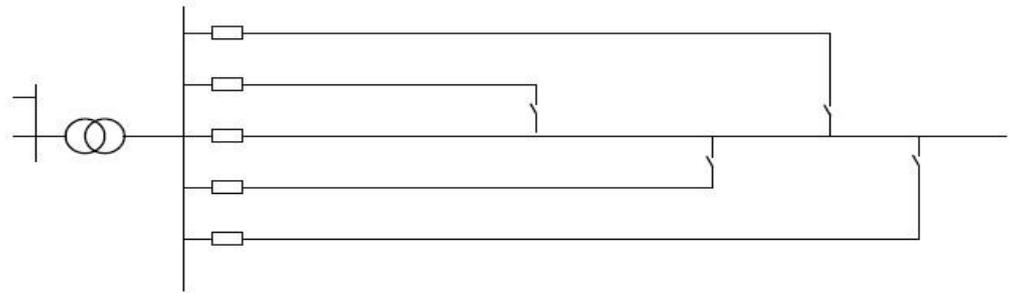
Konfigurasi fishbone ini adalah tipikal konfigurasi dari saluran udara Tegangan Menengah beroperasi radial. Pengurangan luas pemadaman dilakukan dengan mengisolasi bagian yang terkena gangguan dengan memakai pemisah [*Pole Top Switch (PTS)*, *Air Break Switch (ABSW)*] dengan koordinasi relai atau dengan system SCADA. Pemutus balik otomatis PBO (*Automatic Recloser*) dipasang pada saluran utama dan saklar seksi otomatis SSO (*Automatic Sectionalizer*) pada pencabangan.[ 8 ]



Gambar 2.4 Konfigurasi Tulang Ikan (*Fishbone*).

## 2. Konfigurasi Kluster (*Cluster / Leap Frog*)

Konfigurasi saluran udara Tegangan Menengah yang sudah bertipikal sistem tertutup, namun beroperasi radial (*Radial Open Loop*). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan dengan luas penampang penghantar besar.[ 9 ]



Gambar 2.5 Konfigurasi Kluster (*Leap Frog*).

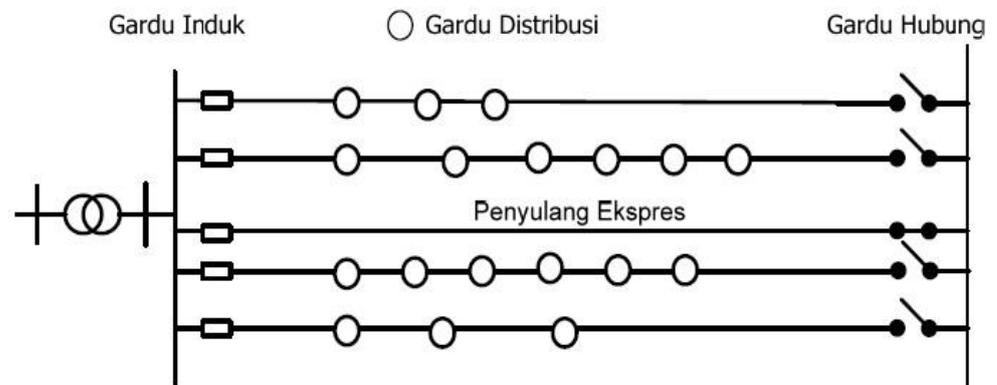
## 3. Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*)

Jaringan distribusi Spindel merupakan suatu pola kombinasi jaringan dari pola radial dan ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang dengan sumber tegangan yang berasal dari gardu induk distribusi dan kemudian disalurkan pada sebuah gardu hubung. Pada tipe ini biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang langsung (*express*) yang akan terhubung dengan gardu hubung. Pola spindle biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah yang menggunakan kabel tanah/ saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM).

Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai back-up supply jika terjadi gangguan pada penyulang operasi. Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. [ 10 ]

Berdasarkan konsep *Spindel* jumlah penyulang pada 1 spindel adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindel penuh adalah 85 %. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO”

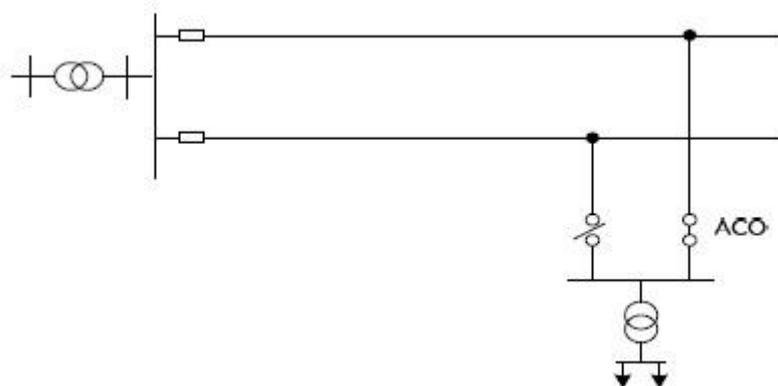
(*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).



Gambar 2.6 Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*).[ 11 ]

#### 4. Konfigurasi Fork

Konfigurasi ini memungkinkan 1(satu) Gardu Distribusi dipasok dari 2 penyulang berbeda dengan selang waktu pemadaman sangat singkat (*Short Break Time*). Jika penyulang operasi mengalami gangguan, dapat dipasok dari penyulang cadangan secara efektif dalam waktu sangat singkat dengan menggunakan fasilitas *Automatic Change Over Switch (ACOS)*. Pencabangan dapat dilakukan dengan sadapan *Tee- Off (TO)* dari Saluran Udara atau dari Saluran Kabel tanah melalui Gardu Distribusi.[ 12 ]

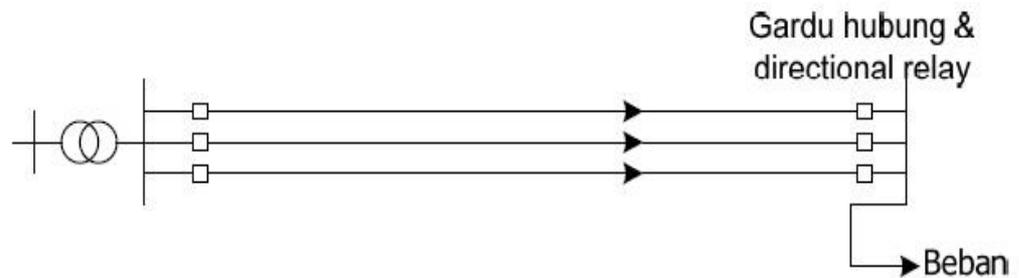


Gambar 2.7 Konfigurasi Fork.

### 5. Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*)

Konfigurasi yang terdiri sejumlah penyulang beroperasi paralel dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi. Konfigurasi ini dipakai jika beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus

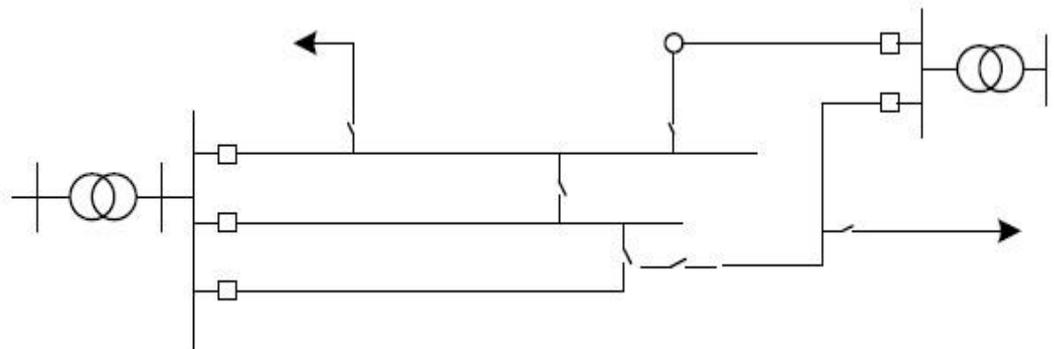
penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna mempertahankan kontinuitas penyaluran. Sistem harus dilengkapi dengan rele arah (*Directional Relay*) pada Gardu Hilir (Gardu Hubung). [ 13 ]



Gambar 2.8 Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*).

### 6. Konfigurasi Jala-Jala (*Grid, Mesh*)

Konfigurasi jala-jala, memungkinkan pasokan tenaga listrik dari berbagai arah ke titik beban. Rumit dalam proses pengoperasian, umumnya dipakai pada daerah padat beban tinggi dan pelanggan-pelanggan pemakaian khusus.



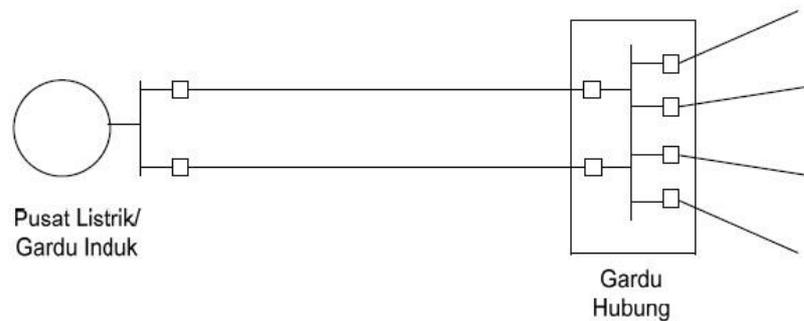
Gambar 2.9 Konfigurasi Jala-jala (*Grid, Mesh*). [ 14 ]

### 7. Konfigurasi lain-lain

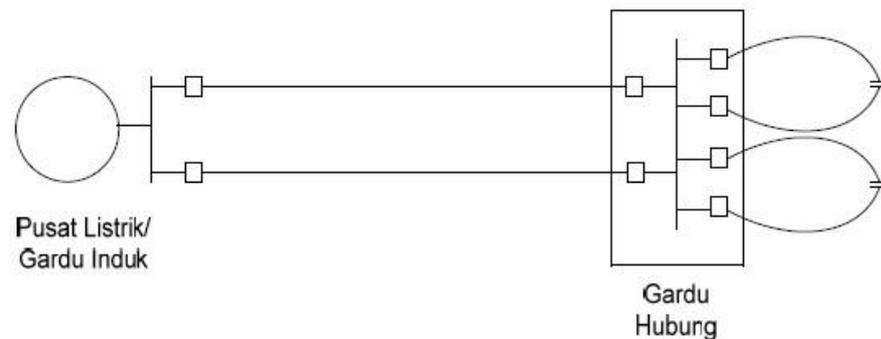
Selain dari model konfigurasi jaringan yang umum dikenal sebagaimana diatas, terdapat beberapa model struktur jaringan yang dapat dipergunakan sebagai alternatif model- model struktur jaringan.

### ➤ Struktur Garpu dan Bunga

Struktur ini dipakai jika pusat beban berada jauh dari pusat listrik/Gardu Induk. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) berfungsi sebagai pemasok, Gardu Hubung sebagai Gardu Pembagi, Pemutus Tenaga sebagai pengaman dengan rele proteksi gangguan fasa-fasa dan fasa-tanah pada JTM yang berawal dari Gardu Hubung.[ 15 ]



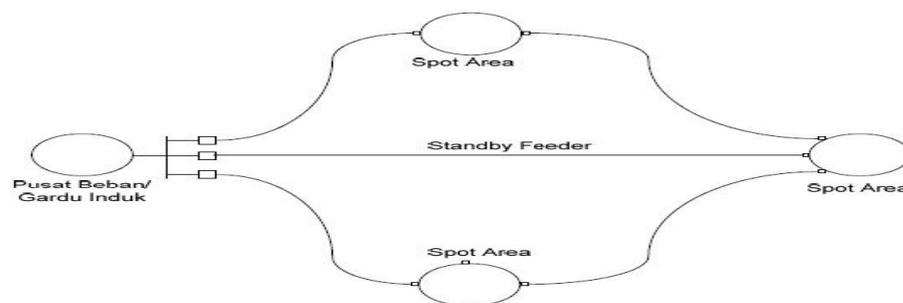
Gambar 2.10 Konfigurasi Struktur Garpu.



Gambar 2.11 Konfigurasi Struktur Bunga.

### ➤ Struktur Rantai

Struktur ini dipakai pada suatu kawasan yang luas dengan pusat-pusat beban yang berjauhan satu sama lain.



Gambar 2.12 Konfigurasi Struktur Rantai [ 16 ]

## **2.4 Macam Jaringan Distribusi Primer**

Berdasarkan fungsinya, maka suatu sistem jaringan distribusi dengan bagian-bagiannya dapat merupakan suatu bentuk, susunan dan macam yang berbeda disesuaikan dengan tujuan tertentu. Dilihat dari jenisnya maka dikenal dua macam saluran distribusi yaitu :[ 17 ]

### **2.4.1 Saluran Udara**

Saluran Udara digunakan pada daerah yang memiliki kerapatan beban yang rendah karena biaya investasi untuk penyediaan tempat dan materialnya cenderung lebih murah adapun keuntungan lainnya yaitu :

- a. Mudah melakukan perluasan pelayanan.
- b. Mudah melakukan pemeriksaan saat terjadi gangguan.
- c. Mudah melakukan pemeliharaan jaringan.
- d. Tiang-tiang distribusi primer juga dapat digunakan untuk jaringan distribusi sekunder dan untuk tempat pemasangan gardu tiang sehingga dapat mengurangi biaya pemasangan instalasinya.

Saluran udara menyalurkan daya listrik melalui penghantar yang berupa kawat telanjang dan kabel yang digantung pada tiang-tiang dengan peralatan isolator. Gangguan-gangguan akan lebih mudah terjadi pada saluran udara sehingga mengakibatkan tingginya biaya untuk melakukan pemeliharaan. Adapun jenis tiang yang paling banyak digunakan pada jaringan distribusi primer adalah tiang beton yang lebih kokoh dan tidak mudah terkena korosi seperti halnya penggunaan tiang besi.[ 18 ]

### **2.4.2 Saluran Bawah Tanah**

Saluran bawah tanah digunakan pada daerah yang memiliki kerapatan beban yang tinggi seperti pada pusat kota dan daerah industri. Hal ini dikarenakan pada daerah pusat kota dan industri terdapat bangunan-bangunan yang cukup tinggi sehingga dapat membahayakan keselamatan manusia apabila jenis saluran yang digunakan adalah saluran udara.

Ketuntungan menggunakan saluran bawah tanah adalah terbebasnya penghantar dari gangguan pohon, sambaran petir dan tidak akan menyebabkan

bahaya sentuh oleh manusia. Namun saluran bawah tanah memiliki beberapa kelemahan diantaranya :

- a. Biaya yang diperlukan relatif mahal.
- b. Tidak fleksibel terhadap perubahan jaringan.
- c. Gangguan jaringan yang sering terjadi bersifat permanen.
- d. Waktu dan biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan saat terjadi gangguan cenderung lebih lama dan lebih mahal.[ 19 ]

## **2.5 Jenis - jenis Beban Listrik**

Beban listrik AC dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu :

1. Beban resistif (R)
2. Beban induktif (L)
3. Beban kapasitif (C)

### **2.5.1 Beban Resistif (R)**

Beban resistif (R) yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (resistance), seperti penghantar pada saluran distribusi . penghantar pada saluran distribusi biasanya menggunakan AAAC ataupun ACSR. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja. [13 ]

### **2.5.2 Beban Induktif (L)**

Beban induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti. Contoh beban induktif yaitu kumparan trafo, baik pada trafo distribusi maupun pada trafo sisipan. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (phase shift) pada arus sehingga bersifat lagging.

### **2.5.3 Beban Kapasitif (C)**

Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (electrical discharge) pada suatu sirkuit. Nilai kapasitansi didapat dari, panjang saluran (panjang penghantar saluran) terhadap tanah / bumi yang menimbulkan nilai kapasitansi. Pada saluran distribusi dapat diabaikan karena merupakan saluran pendek (< 50 km ). Komponen ini dapat menyebabkan arus leading terhadap tegangan.:[ 17 ]

## 2.6 Parameter Saluran Distribusi

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu sistem tenaga listrik memiliki parameter yaitu sebagai berikut :resistansi saluran ,induktansi ,kapasitansi dan konduktansi .Karena saluran distribusi memiliki panjang saluran yang tidak begitu jauh (kurang dari 80 km)dan menggunakan tegangan tidak lebih dari 70 kv maka kapasitansi dan konduktansi sangat kecil dan dapat diabaikan .

Resistansi yang timbul pada saluran dihasilkan dari jenis penghantar yang memiliki tahanan jenis dan besar resistansi pada penghantar tergantung dari jenis material ,Luas penampang dan panjang saluran .Resistansi penghantar sangat penting dalam evaluasi efisiensi distribusi dan studi ekonomis .

Induktansi timbul dari efek medan magnet di sekitar penghantar jika pada penghantar terdapat arus yang mengalir .parameter ini penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisis sistem tenaga.[ 21]

### 2.6.1 Resistansi Saluran

Nilai tahanan saluran distribusi ataupun transmisi di pengaruhi oleh resistivitas konduktor ,suhu, dan efek kulit (skin effect).Tahanan merupakan sebab utama timbulnya susut daya pada saluran. Dikenal ada 2 macam tahanan ,tahanan arus searah dan tahanan arus bolak – balik .Tahanan arus searah ditentukan oleh resistivitas material konduktor : [10 ]

$$R_{dc} = \rho \frac{l}{A} \Omega \dots\dots\dots( 2.1)$$

Dengan :

$\rho$  = Tahanan Jenis penghantar ( $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )

$R_{dc}$  = Tahanan arus searah( $\Omega$  )

$A$  = Luas Penampang Penghantar (  $\text{mm}^2$  )

$l$  = Panjang Penghantar pada saluran /konduktor ( m )

Sedangkan menurut AS.pabla (1995) tahanan arus bolak balik dapat di peroleh dari :

$$R_{ac} = R_{dc} ( 1+Y_s+Y_p ) \dots\dots\dots( 2.2)$$

Dengan :

$R_{ac}$  = Tahanan ac ( $\Omega$ )

$R_{dc}$  = Tahanan Tahanan arus searah( $\Omega$  )

$Y_s$  = Hubungan untuk efek kulit(skin effect )

$Y_p$  = Hubungan untuk efek sekitar (proximity effect )

Efek kulit atau skin effect adalah gejala pada arus bolak – balik, bahwa kerapatan arus dalam penampang konduktor tersebut semakin besar ke arah permukaan kawat .Tetapi bila ditinjau dari frekuensi kerja (50 Hz ) ,maka efek kulit sangat kecil dan dapat diabaikan .Efek sekitar adalah pengaruh dari kawat lain yang berbeda disamping kawat yang pertama(yang ditinjau ) sehingga distribusi fluks tidak simetris lagi.Tetapi bila radius konduktor kecil terhadap jarak antara kedua kawat maka efek sekitar ini sangat kecil dan dapat diabaikan.Karena pengaruh diatas maka resistansi lebih baik di tentukan dari data pabrik (Manufacturers data)dengan satuan  $\Omega/\text{km}$ . [10 ]

## 2.6.2 Induktansi Saluran

Menurut Saadat (1999) suatu penghantar yang membawa arus menghasilkan suatu medan magnetik di sekeliling penghantar. Fluks magnetik saluran merupakan lingkaran konsentris tertutup dengan arah yang diberikan oleh kaidah tangan kanan. Dengan penunjukan ibu jari sebagai arah arus, jari tangan kanan. yang melingkari titik kawat sebagai arah medan magnetik. Apabila arus berubah,fluks berubah dan suatu tegangan diinduksikan dalam rangkaian. Dengan mendefenisikan material magnetik, induktansi L merupakan rasio lingkup fluks (*flux linkage*) magnetik total terhadap arus,[5]

$$L = \frac{\lambda}{I} \dots\dots\dots( 2.3)$$

Dimana  $\lambda$  merupakan lingkup fluks dalam weber lilit (weber turn).

$$\lambda = \frac{1}{2\pi} \mu_0 \mu_r I \ln \frac{D-r}{r} \text{ Weber}$$

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{8\pi} + \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{D-r}{r} \text{ Henry}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{4\pi \times 10^{-7}}{8\pi} + \left\{ 1 + 4 \ln \frac{D-r}{r} \right\} \text{ H/meter} \\
&= 10^{-7} \left\{ 0.5 + 2 \ln \frac{D-r}{r} \right\} \text{ H/meter} \\
&= \left\{ 0.5 + 4.6 \log_{10} \frac{D-r}{r} \right\} \times 10^{-7} \text{ H/meter}
\end{aligned}$$

Pada saluran transmisi 3 phasa, nilai induktansi/phase adalah sama dengan nilai induktansi per konduktor, yaitu :

$$L = \left\{ 0.5 + 4.6 \log_{10} \frac{D-r}{r} \right\} \times 10^{-7} \text{ H/meter} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing – masing konduktor tersebut. Induktansi dihitung dengan konsep *Geometric Means Radius* (GMR). Karakteristik penghantar dapat dicari dari buku penghantar atau literature pabrik pembuat yang menyediakan nilai induktansi dari suatu penghantar dalam satuan mH/km. Pabrik pembuat penghantar menyediakan karakteristik standard penghantar dengan ukuran penghantar. [6]

### 2.6.3 Reaktansi Saluran

Dalam hal arus bolak – balik medan sekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan berubah – ubah dan mengait dengan konduktor itu sendiri maupun konduktor lain yang berdekatan oleh karena adanya fluks yang memiliki sifat induktansi. Untuk besarnya reaktansi sangat ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak – balik yaitu :

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana :

$X_L$  = Reaktansi kawat penghantar ( Ohm )

f = Frekuensi ( Hz)

L = Induktansi kawat penghantar ( Hendry ) [19]

### 2.6.4 Ekuivalen Saluran Distribusi

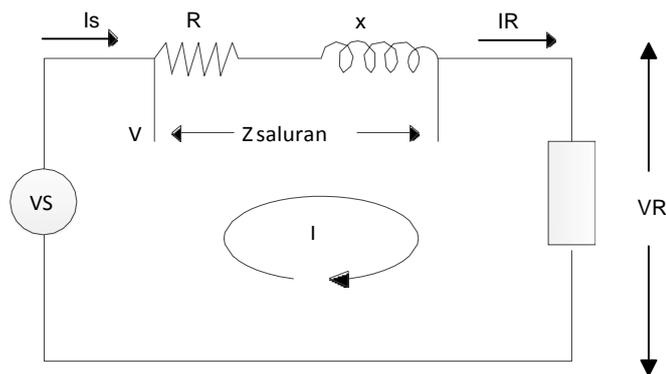
Saluran distribusi digambarkan melalui suatu model ekuivalen dengan mengambil parameter rangkaian pada suatu basis perfasa. Tegangan terminal digambarkan dari satu saluran ke netral, arus dari satu fasa saluran sehingga sistem distribusi tiga fasa berkurang menjadi ekuivalen sistem distribusi fasa

tunggal. Menurut Stevenson (1995) model saluran distribusi digunakan untuk menghitung tegangan, arus dan aliran daya yang dipengaruhi oleh panjang saluran. Model saluran distribusi diperoleh dengan mengalikan impedansi saluran persatuan panjang dengan panjang saluran.[4]

$$Z = (r + j\omega L)l \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Z = R + jX \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana  $r$  dan  $L$  merupakan resistansi dan induktansi perfasa persatuan panjang, dan  $l$  merupakan panjang saluran. Model saluran distribusi pada suatu basis perfasa ditunjukkan pada gambar 2.13.  $V_S$  dan  $I_S$  merupakan tegangan dan arus pada ujung kirim saluran,  $V_R$  dan  $I_R$  merupakan tegangan dan arus pada ujung penerima saluran.[16]



Gambar 2.13 Ekuivalen saluran distribusi

Keterangan :

- $V_S$  = Tegangan Sumber (Volt)
- $V_R$  = Tegangan pada sisi penerima (Volt)
- $R$  = Resistansi Saluran ( $\Omega$ )
- $X$  = Reaktansi Saluran ( $\Omega$ )
- $Z$  = Impedansi saluran ( $\Omega$ )

Jika daya terlihat (*apparent power*) tiga fasa didistribusikan ke beban pada sisi penerima, arus ujung pengirim diperoleh melalui,

$$I_s = \frac{S_s(3\phi)}{3V_s} \dots\dots\dots( 2.8)$$

Dimana ,

$S_s(3\phi)$ = daya terlihat tiga fasa pada sisi pengirim (MVA)

$V_S$  = tegangan sisi pengirim (kV)

Oleh karena arus rangkaian saluran distribusi merupakan hubungan seri dimana kapasitansi shunt saluran diabaikan maka arus ujung pengirim dan ujung penerima adalah sama, [13]

$$I_S = I_R \dots\dots\dots(2.9)$$

## 2.7 Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai kecepatan aliran energi listrik pada satu titik jaringan listrik tiap satu satuan waktu. Dengan satuan watt atau Joule per detik dalam SI, daya listrik menjadi besaran terukur adanya produksi energi listrik oleh pembangkit, maupun adanya penyerapan energi listrik oleh beban listrik.

Daya semu, daya nyata, dan daya reaktif dianggap sebagian engineer sebagai sesuatu yang sulit untuk dipahami. Terutama karena sulitnya untuk mengimajinasikan daya-daya tersebut. Namun sebenarnya cukup mudah untuk memahami apa itu daya semu, daya nyata, dan daya reaktif. Hanya dibutuhkan sebuah pandangan yang lebih luas mengenai sistem jaringan listrik AC .[ 20 ]

### 2.7.1 Daya Semu

Daya semu adalah daya yang melewati suatu saluran penghantar yang ada pada jaringan transmisi maupun distribusi atau hasil penjumlahan daya aktif dan daya reaktif. Daya semu ini umumnya tertera di kWh meter. Dimana daya semu ini dibentuk oleh besaran tegangan yang dikalikan dengan besaran arus.

Untuk satu fasa yaitu:

$$S_{1\phi} = V_{\phi} \times I_{\phi} \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk tiga fasa yaitu :

$$S_3 = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana ,

$S_{1\phi}$  = daya semu satu fasa (MVA)

$S_3$  = daya semu tiga fasa (MVA)

$V_L$  = Tegangan Line (kV)

$I_L$  = arus line konjugate (A) [5]

### 2.7.2 Daya Aktif

Daya aktif (daya nyata) adalah daya yang dipakai untuk menggerakkan berbagai macam seperti : gerakan motor listrik atau mekanik. Daya aktif ini merupakan pembentuk dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Untuk satu phasa yaitu : [ 6]

$$P_1 = V_\phi \times I_\phi \times \cos \phi \dots \dots \dots (2.12)$$

Untuk tiga phasa yaitu :

$$P_3 = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \phi \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana,

$P_1 \phi$  = Daya aktif satu phasa (MW)

$P_3 \phi$  = Daya aktif tiga phasa (MW)

$V_L$  = Tegangan Line (KV)

$\cos \phi$  = Faktor daya

$I_L$  = Arus Line (A)

### 2.7.3 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang tidak terpakai dalam suatu sistem tenaga listrik. Adanya daya reaktif juga sering dipengaruhi oleh beban induktif atau kapasitif suatu rangkaian listrik.

Untuk satu phasa : [ 5]

$$Q_1 \phi = V_\phi \times I_\phi \times \sin \phi \dots \dots \dots (2.14)$$

Untuk tiga phasa :

$$Q_3 \phi = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \phi \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana ,

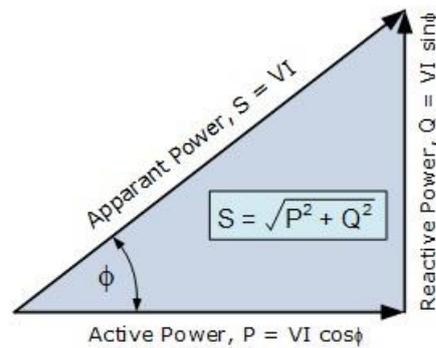
$Q_1 \phi$  = Daya reaktif satu phasa (MVAR)

$Q_3 \phi$  = Daya reaktif tiga phasa (MVAR)

$V$  = Besar tegangan (V)

$I_L$  = Arus Line (A)

Dari ketiga daya diatas yaitu daya semu (S), daya aktif (P), serta daya reaktif (Q) maka hubungan untuk daya-daya tersebut dapat digambarkan dalam bentuk segitiga daya kompleks yang dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14: Segitiga Daya

Gambar diatas merupakan gambar segitiga daya kompleks yang artinya menyatakan hubungan dari ketiga jenis daya tersebut yaitu : Daya semu, daya aktif dan daya reaktif. Menurut *Smith* (1992) konsep daya kompleks memberikan pendekatan lain untuk pemecahan persoalan rangkaian arus AC. Perhitungan yang mengikuti kaidah aljabar kompleks, teknik vector dan metode grafik dapat diterapkan seperti ditunjukkan pada gambar 2.14. Selanjutnya daya kompleks ditandai dengan S dan diberikan melalui :[6]

$$S = VI^* \dots\dots\dots(2.16)$$

$$S = P + jQ \dots\dots\dots(2.17)$$

Magnitud dari S,

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.18)$$

Persamaan diatas merupakan daya terlihat (*apparent power*), satuannya dalam volt-ampere dan satuan besarnya dalam kVA atau MVA. Daya terlihat memberikan indikasi langsung dari energi listrik dan digunakan sebagai suatu rating satuan perangkat daya.

## 2.8 Drop Tegangan

Rugi tegangan (*drop voltage*) adalah perbedaan tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Berdasarkan SPLN 1:1987 sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dengan

kriteria rugi tegangan yang dapat diijinkan tidak boleh lebih dari 5% dan minimum -10% ( $\Delta V \geq 5\%$ ). [19]

Adapun penyebab jatuh tegangan (drop tegangan) adalah :

1. Jauhnya jaringan ,jauhnya transformator dari Gardu Induk.
2. Rendahnya tegangan yang diberikan GI atau rendahnya tegangan transformator distribusi .
3. Sambungan penghantar yang tidak baik ,penjumperan saluran distribusi tidak tepat sehingga bermasalah dari sisi TM dan TR .
4. Jenis penghantar dan konektor yang digunakan .
5. Arus yang dihasilkan terlalu besar .

Dari rangkaian yang ditunjukkan pada gambar 2.14 diperoleh bahwa rugi tegangan saluran merupakan tegangan jatuh (drop voltage) sepanjang saluran dan dapat ditentukan: [2]

$$V_z = I_s \times Z_L \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

- $V_z$  = Rugi tegangan (v)  
 $I_s$  = Arus saluran(A)  
 $Z_L$  = Impedansi saluran ( $\Omega$ )

Tegangan sisi penerima atau tegangan yang sampai ke beban merupakan tegangan sisi pengirim dikurang tegangan jatuh saluran,

$$V_R = V_s - V_z \dots \dots \dots (2.20)$$

Besar presentase drop tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\% V_{\text{rugi}} = \frac{V_z}{V_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.21)$$

### 2.8.1 Rugi Daya Saluran

Rugi daya aktif yang timbul pada komponen resistansi saluran distribusi akan terdisipasi dalam bentuk energi. Sedangkan rugi daya reaktif akan dikembalikan ke sistem dalam bentuk medan magnetik dan atau medan listrik. Arus yang mengalir pada saluran akan menghasilkan rugi daya terlihat saluran, [18]

$$S_z(3\phi) = 3 V_z I_s^* \dots\dots\dots(2.24)$$

Rugi daya terlihat yang dihasilkan pada saluran terdiri dari rugi daya aktif dan rugi daya reaktif yang ditulis dalam bentuk bilangan kompleks dimana rugi daya aktif sebagai bilangan real dan rugi daya reaktif sebagai bilangan imajiner,

$$S_z(3\phi) = P_{z(3\phi)} + jQ_{z(3\phi)} \dots\dots\dots(2.23)$$

Daya yang diterima (PR) merupakan hasil pengurangan dari aktif dan rugi daya seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini:

$$P_R = P_s - P_z \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

$S_z$  = rugi daya terlihat

$P_z$  = rugi daya aktif

$P_R$  = daya diterima

Sudut perbedaan fasa antara jatuh tegangan dan arus saluran,  $\cos \varphi$  disebut juga sebagai sudut daya saluran atau faktor daya. [ 21]

### 2.8.2 Efisiensi Penyaluran

Efisiensi penyaluran adalah perbandingan antara daya nyata yang diterima dengan daya nyata yang disalurkan atau dengan kata lain perhitungan efisiensi ini berguna untuk mengetahui seberapa persenkah energi listrik tersebut diterima setelah didalam penyalurannya terdapat rugi – rugi. Adapun untuk mendapatkan nilai efisiensi itu adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_r(3\phi)}{P_s(3\phi)} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.25)$$

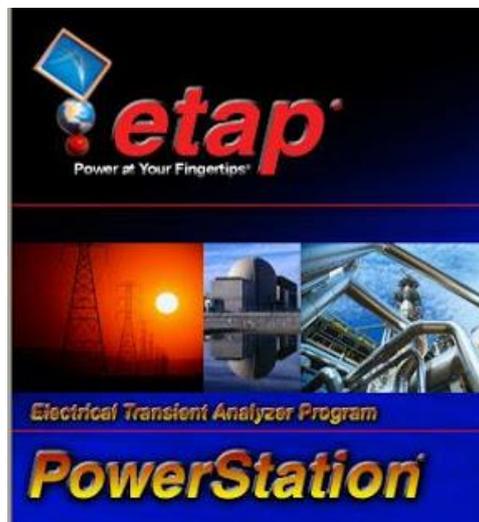
Keterangan :

$P_r$  = daya yang diterima (MW)

$P_s$  = daya yang disalurkan (kW) [ 22]

## 2.9 Software ETAP

**ETAP** (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.



Gambar 2.15 Software Etap